

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

TOXICIDADE DE ESPÉCIES DE ENXOFRE EM REATOR ANAERÓBIO TRATANDO ESGOTOS DOMÉSTICOS

*TOXICITY OF SPECIES OF SULPHUR IN ANAEROBIC
REACTOR TREATING DOMESTIC WASTEWATER*

Recibido el 7 de agosto de 2013; Aceptado el 29 de noviembre de 2013

*Glennya Rodrigues Carvalho¹
Giulliano Guimarães Silva¹
Sérgio Carlos Bernardo Queiroz¹
Sylvia Salla Setubal¹
Telma de Matos Guimarães¹
Marcelo Mendes Pedroza¹

Abstract

This study aimed to monitor the operation and inhibitory effect of sulfur (sulfate and sulfide) in UASB reactor treating domestic sewage. To achieve the objectives of this research were collected weekly samples in the influent and effluent of the UASB. To determine the effect of toxicity of sulfur during monitoring, four sampling points were marked on the inside of the UASB reactor at different depths (P1, P2, P3, P4), and the point P1 was 1m of the bottom of the reactor and the other points located 2, 3 and 4 m from the bottom of the reactor. The pH values ranged from 6.4 to 7.5 in the reactor effluent. Average concentrations of volatile fatty acids in the influent and effluent were 75.9 and 34.8, respectively. The removals of BOD and COD were 61 and 58%. The reactor showed low removal of ammonia nitrogen, indicating that anaerobic reactors have a poor capacity to remove nutrients during treatment. The highest sulfide was found to be 1.3 mg / L in the reactor at the point P1. It was possible to check a decay of the concentration of sulfide from the entry of raw sewage into the reactor. The experimental data and the literature surveyed show that the values of sulfide inside the reactor are well below those required to inhibit the methanogenic activity.

Key Words: wastewater, sulphur, toxicity, UASB reactor.

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), Brasil

*Autor correspondiente: 1004 Sul Alameda 14 LT 04 APT. 08. Edifício Carrilho Plano Diretor Sul – Palmas - TO - CEP: 77023-526 – Brasil. Email: glennya@gmail.com

Resumo

Esse trabalho teve como objetivo monitorar o funcionamento e o efeito inibitório do enxofre (sulfato e sulfeto) em reator UASB tratando esgotos domésticos. Para a concretização dos objetivos dessa pesquisa, foram coletadas semanalmente amostras no afluente e efluente do reator UASB. Para a determinação do efeito de toxicidade de enxofre durante o monitoramento foram demarcados 4 pontos amostrais no interior do reator UASB a diferentes profundidades (P1, P2, P3 e P4), sendo que o ponto P1 estava a 1m do fundo do reator e os outros pontos localizados a 2, 3 e 4 m do fundo do reator. Os valores de pH oscilaram entre 6,4 a 7,5 no efluente. As concentrações médias de ácidos graxos voláteis no afluente e efluente foram de 75.9 e 34.8, respectivamente. As remoções de DBO e DQO do sistema foram de 61 e 58%. O reator apresentou baixa remoção de nitrogênio amoniacal, indicando que os reatores anaeróbios possuem uma capacidade insatisfatória de remover de nutrientes durante o tratamento. O maior valor de sulfeto encontrado foi de 1,3 mg/L dentro do reator no ponto P1. Foi possível verificar um decaimento da concentração de sulfeto a partir da entrada afluente. Os dados experimentais encontrados e a bibliografia pesquisada mostram que os valores de sulfeto dentro do reator estão muito abaixo daqueles necessários para inibirem a atividade metanogênica.

Palavras-chave: águas residuárias, enxofre, toxicidade, reator UASB

Introdução

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento - PNSB 2008, pouco mais da metade dos municípios brasileiros (55.2%) tem serviço de esgotamento sanitário por rede coletora, marca pouco superior à observada na pesquisa anterior, realizada em 2000, que registrava 52.2%. Em 2008, apenas a Região Sudeste registrava uma elevada presença de municípios com rede coletora de esgoto (95.1%). Em todas as demais, menos da metade dos municípios a possuíam, sendo a maior proporção observada na Região Nordeste (45.7%), seguida pelas Regiões Sul (39.7%), Centro-Oeste (28.3%) e Norte (13.4%).

O Tocantins é o mais novo Estado da federação brasileira, abrange 139 municípios, dos quais 15 apresentam tratamento de esgoto sanitário. Segundo dados do IBGE o Estado do Tocantins no ano de 2008 realizou o tratamento de 13721 m³ de esgoto por dia. Segundo dados da companhia de saneamento do Tocantins (SANEATINS), 100% do esgoto coletado no estado é tratado. No entanto, apesar de menos de 1/3 dos municípios brasileiros efetuar tratamento de esgoto, o volume tratado representava, em 2008, 68.8% do que era coletado.

Os principais tipos de tratamento biológico do estado do Tocantins são: filtro biológico, valo de oxidação, lagoa anaeróbia, lagoa aeróbia, lagoa aerada, lagoa facultativa, lagoa de maturação e reator anaeróbio (IBGE, 2008). Reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), têm sido amplamente investigados como uma alternativa para o tratamento de esgotos sanitário em países de clima quente (Chernicharo, 1997). A ETE Vila União, uma das principais estações de tratamento de esgoto da capital do estado (Palmas), possui tratamento biológico híbrido, com reator anaeróbio UASB seguido de Lagoa Facultativa.

O processo anaeróbico representa uma opção bastante promissora para minimizar o problema de tratamento de esgotos sanitário no Brasil. Apesar dos fatores climáticos favoráveis, também sob o ponto de vista financeiro, o tratamento anaeróbico oferece uma alternativa bastante atrativa para os países em desenvolvimento. Dentre as diversas opções disponíveis para o tratamento de efluentes, este tipo de tratamento destaca-se pela considerável redução de matéria orgânica do efluente aliado à produção de energia útil em forma do gás metano e a uma baixa produção de lodo excedente (Pedroza *et al.*, 2011).

Relatos de Silva (2007) citam que dentre os impactos negativos do tratamento de esgoto, encontram-se a proliferação de odores ofensivos, um dos principais motivos de reclamações das estações de tratamento de efluentes, pois causam grande desconforto para a população dos arredores destas instalações. O cheiro desagradável das estações de tratamento de esgoto é proveniente de uma mistura complexa de moléculas com enxofre (H_2S e mercaptanas), nitrogenadas (NH_3 e aminas), fenóis, aldeídos, álcoois e ácidos orgânicos (Belli Filho *et al.*, 2001).

O sulfeto de hidrogênio pode ser considerado o principal composto responsável pela percepção de odores em estações de tratamento de esgotos, principalmente pelo fato de o sistema olfativo humano ser capaz de detectá-lo em baixas concentrações, cerca de 5 ppb (Lupatini, 2007).

Na ausência de oxigênio e nitrato, o sulfato serve como fonte de oxigênio (ou mais corretamente como aceptor de elétron) para a oxidação bioquímica produzida por bactérias anaeróbicas. Em condições anaeróbicas o íon sulfato é reduzido a íon sulfeto, para estabelecer o equilíbrio com o íon hidrogênio para formar o sulfeto de hidrogênio. Os sulfatos são de grande importância, porque são indiretamente responsáveis por problemas sérios associados com a manipulação e tratamento de esgotos. Esses problemas são o odor e a corrosão devido à redução de sulfatos a sulfeto de hidrogênio em condições anaeróbicas (Sawyer *et al.*, 1994).

Estratégias para o tratamento de águas residuárias contendo sulfato são, conseqüentemente, focadas na minimização da redução de sulfato e concentração de sulfeto no reator. Sabe-se que, no reator UASB tratando esgoto sanitário contendo sulfato, as bactérias redutoras de sulfato exercem um importante papel na degradação anaeróbica de vários compostos químicos. Dessa forma, poderá haver uma acumulação de sulfeto no reator, podendo ocasionar os distúrbios citados anteriormente. No entanto, poucos são os estudos experimentais para avaliar a produção de sulfeto em reatores anaeróbicos, principalmente sobre a cinética de conversão de sulfato a sulfeto (Subtil, 2007).

O presente trabalho visa monitorar o funcionamento e o efeito inibitório do enxofre (sulfato e sulfeto) no reator UASB da estação de tratamento de efluente Vila União, na cidade de Palmas – Tocantins.

Materiais e Métodos

A Estação de Tratamento de Esgotos Vila União, Palmas - TO

Os experimentos foram conduzidos na Estação de Tratamento de Esgoto ETE Vila União, situada na cidade de Palmas (TO), cuja responsabilidade é da Companhia de Saneamento do Estado do Tocantins.

O sistema de esgotamento compreende: rede coletora, tratamento preliminar (grades, caixas de areia e caixas de gorduras), estação elevatória, cuja finalidade é bombear esgoto bruto, através do conjunto motor-bomba, reator UASB e Lagoa Facultativa. A alimentação da ETE é feita por meio de esgotos domésticos. O sistema foi projetado para tratar 110.0 L/s, mas atualmente trata uma vazão média de 30 L/s de esgotos.

O Reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) (**1a**) é constituído por uma câmara inferior de digestão e por um dispositivo superior para separação de gases, sólidos e líquidos. O processo consiste de um fluxo ascendente de esgotos através de uma manta de lodo densa e de elevada atividade que tem por objetivo reduzir a carga orgânica contida nos esgotos, com formação contínua do biogás, que na ETE é queimado a todo instante (**1b**). O volume do reator é de 3128 m³, altura de 7.8 metros e um diâmetro de 22.6 metros.

O Efluente do reator UASB é lançado numa lagoa facultativa, que possui 220 metros de comprimento, 110 metros de largura e 1.5 metros de profundidade. O efluente final da ETE é descartado através de uma única tubulação localizada na parte superior da lagoa e, é lançado no corpo receptor, o córrego Água Fria.

Os resíduos sólidos gerados no tratamento preliminar são tratados com cal e dispostos em valas localizadas numa área da própria estação. O lodo biológico produzido no reator UASB é lançado em leitos de secagem (**1c**) que tem por finalidade reduzir o teor de umidade do lodo. A descarga desse lodo, feita diretamente do reator UASB, é realizada a cada mês numa quantidade média de 50 m³ de lodo (Pedroza *et al*, 2011).

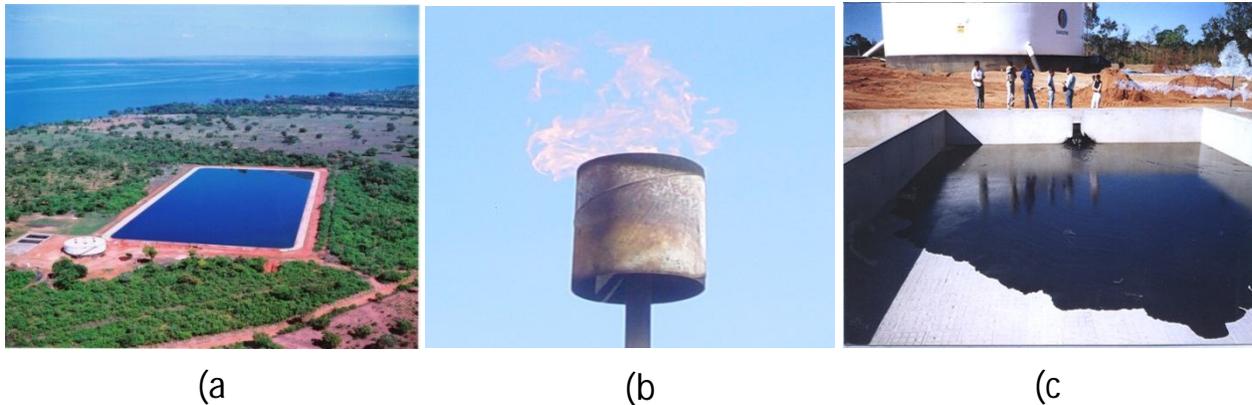


Figura 1. Estação de tratamento de esgoto ETE Vila União: (a) lagoa facultativa, (b) queimador de gás do reator UASB e (c) descarga de lodo do reator UASB em leito de secagem

Monitoramento da Qualidade do Efluente

Para a realização do trabalho foi estabelecido um programa de monitoramento para o reator UASB, o qual consiste na realização de coletas e análises físico-químicas das amostras. Quanto a amostragem, foram feitas coletas no esgoto bruto e no efluente tratado (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros físico químicos utilizados no monitoramento

Parâmetro	Técnica	Referência
DOO	Refluxo com Dicromato	APHA (1995)
DBO	Frascos Padrões	APHA (1995)
Alcalinidade	Titul. pH determinado	APHA (1995)
pH	Leitura direta	APHA (1995)
Sólidos Totais	Evap. e secagem a 105°	APHA (1995)
Sólidos Suspensos	Secagem a 550°	APHA (1995)
Sólidos Dissolvidos	Secagem a 550°	APHA (1995)
Ácidos Graxos Voláteis (AGV)	Acidificação e Alcalinização	APHA (1995)
Nitrito	Espectrof. Visível	APHA (1995)
Nitrato	Espectrof. Visível	APHA (1995)
Nitrogênio Amoniacal	Espectrof. Visível	APHA (1995)
Sulfeto	Espectrof. Visível	APHA (1995)
Sulfato	Espectrof. Visível	APHA (1995)

Para estudar a toxicidade das espécies de enxofre na digestão anaeróbia, foram demarcados 4 pontos amostrais no interior do reator UASB a diferentes profundidades (P1, P2, P3 e P4), sendo que o ponto P1 estava a 1m do fundo do reator e os outros pontos localizados a 2, 3 e 4 m do fundo do reator, conforme Figura 2.

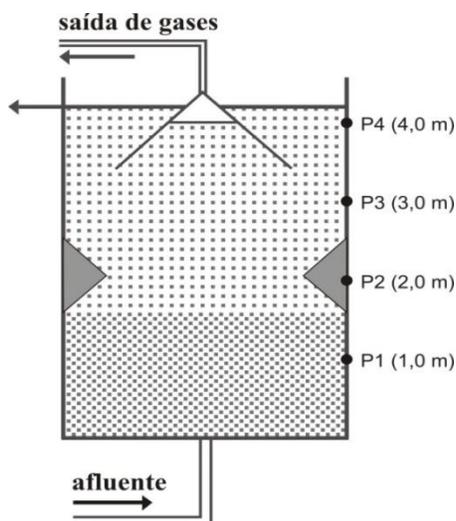


Figura 2. Desenho esquemático do reator UASB utilizado nessa pesquisa

Resultados e Discussão

Monitoramento da Qualidade do Efluente do reator UASB

A Tabela 2 apresenta os resultados experimentais obtidos através das análises físico-químicas dos parâmetros analíticos: temperatura, pH, amônia, nitrito, nitrato, ácidos graxos voláteis (AGV), sulfeto, sulfato, alcalinidade, DQO, DBO e sólidos.

Tabela 2. Dados experimentais obtidos durante o monitoramento do reator UASB

Parâmetro	Ponto de Coleta		Resolução CONAMA (430/2011)
	Afluente	Efluente	
Temperatura (°C)	28.7 ± 0.7	29,1 ± 0.5	< 40
pH (-)	7.05 ± 0.3	7.02 ± 0.1	5 a 9
DBO (mg/L)	231.4 ± 46.3	91.9 ± 20.9	120
DQO (mg/L)	520.0 ± 92.1	220.0 ± 48.6	-
Amônia (mgN/L)	13.8 ± 4.6	15.1 ± 4.5	20
Nitrato (mgN/L)	3.3 ± 1.0	2.7 ± 1.0	-
Nitrito (mgN/L)	0.3 ± 0.2	0.16 ± 0.13	-
Sulfeto (mgS/L)	0.451	0.214	-
Sulfato (mgS/L)	29.3 ± 2.3	6.7 ± 2.3	-
AGV (mg/L)	75.9 ± 28.6	34.8 ± 14.7	-
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	148.7 ± 51.2	183.7 ± 57.0	-
Sólidos Totais (mg/L)	720 ± 55.9	440 ± 64.7	-

O pH pode ser definido como potencial Hidrogeniônico. Representa a concentração de íons hidrogênio H^+ (em escala anti-logarítmica), dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. O pH varia de 0 a 14. A faixa ótima de pH para o crescimento bacteriano situa-se entre 6,5 e 7,5, e que, os principais indicadores de distúrbios nos processos anaeróbios são o aumento na concentração de ácidos voláteis, aumento da porcentagem de CO_2 no biogás, diminuição do pH, diminuição da produção total de gás e diminuição da eficiência do proceso (Silva *et al.*, 2012). Os valores de pH oscilaram entre 6,4 a 7,5 (Figura 3), no efluente do reator, portanto ficando dentro da faixa considerada ótima para ocorrer a metanogênese que é de 6,3 a 7,8. A alcalinidade pode ser definida como a quantidade de íons na água que reagirão para neutralizar os íons hidrogênio. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e os hidróxidos (OH^-). O monitoramento da alcalinidade nos reatores anaeróbios é muito mais eficaz que o monitoramento do pH, pois enquanto a escala do pH é logarítmica, a escala da alcalinidade é linear. Os valores médios de alcalinidade no afluente e efluente do reator UASB foram de 148.7 e 183.7 $mgCaCO_3/L$, respectivamente.

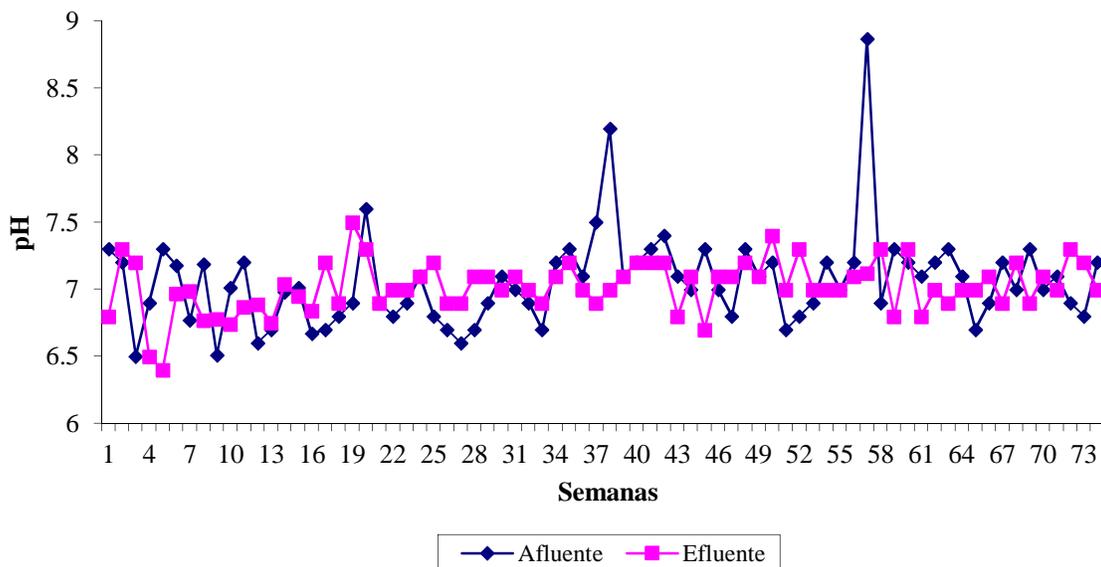


Figura 3. Valores de pH obtidos durante o monitoramento do reator UASB

A instabilidade de um reator anaeróbio, resulta no acréscimo da concentração de ácidos voláteis, o que implicaria na redução de pH. A alcalinidade presente deve ser suficiente para a neutralização dos AGV. Como observado na Figura 4, a alcalinidade do efluente do reator quase sempre esteve maior do que o afluente, isto se deve principalmente a geração de cátions

provenientes da degradação de proteínas e a remoção dos ácidos graxos, ocasionando assim o aumento do pH no reator e conseqüentemente garantindo a capacidade de tamponamento do sistema.

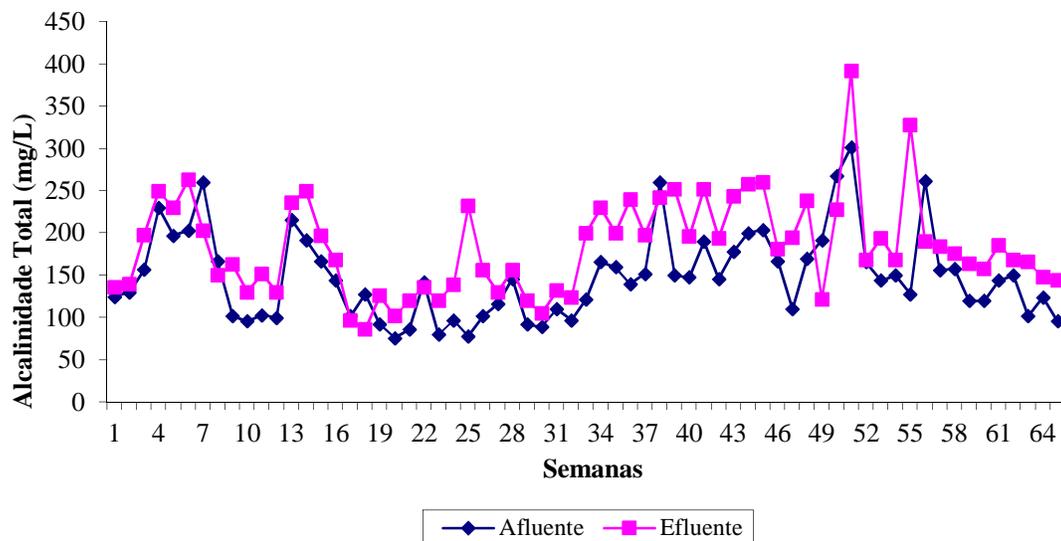


Figura 4. Valores de alcalinidade obtidos durante o monitoramento do reator UASB

Altas concentrações de AGV podem afetar o processo bioquímico e, eventualmente, causar distúrbios no processo de digestão anaeróbia como um todo. A geração de grandes concentrações de ácidos graxos voláteis acelera a atuação de bactérias acetogênicas, porém é inibitória às bactérias metanogênicas, uma vez que estas não consomem os ácidos resultantes da acetogênese com a mesma rapidez que são produzidos (Lupatini, 2007). As concentrações médias de ácidos graxos voláteis no afluente e efluente foram de 75.9 e 34.8, respectivamente.

A Figura 5 apresenta os valores obtidos de DQO no afluente e efluente do reator durante as semanas de monitoramento. O maior valor encontrado de DQO no afluente foi de 800 mg/L e no efluente de 350 mg/L e o mínimo foi de 304 mg/L e 120 mg/L no afluente e efluente respectivamente. Foi observado que a carga orgânica afluente teve uma oscilação muito grande no decorrer do estudo, isto ocorreu principalmente devido a infiltrações da rede coletora de esgoto e o aumento da vazão afluente. Os valores médios do afluente e do efluente foram de 520 mg/L e 220 mg/L, isto corresponde a uma remoção de 58%, considerada satisfatória. Com relação a DBO, conforme observado na Tabela 2, os valores médios no afluente e no efluente foram de 231.2 e 91.9 mg/L, respectivamente, o que corresponde a uma remoção média de 61%.

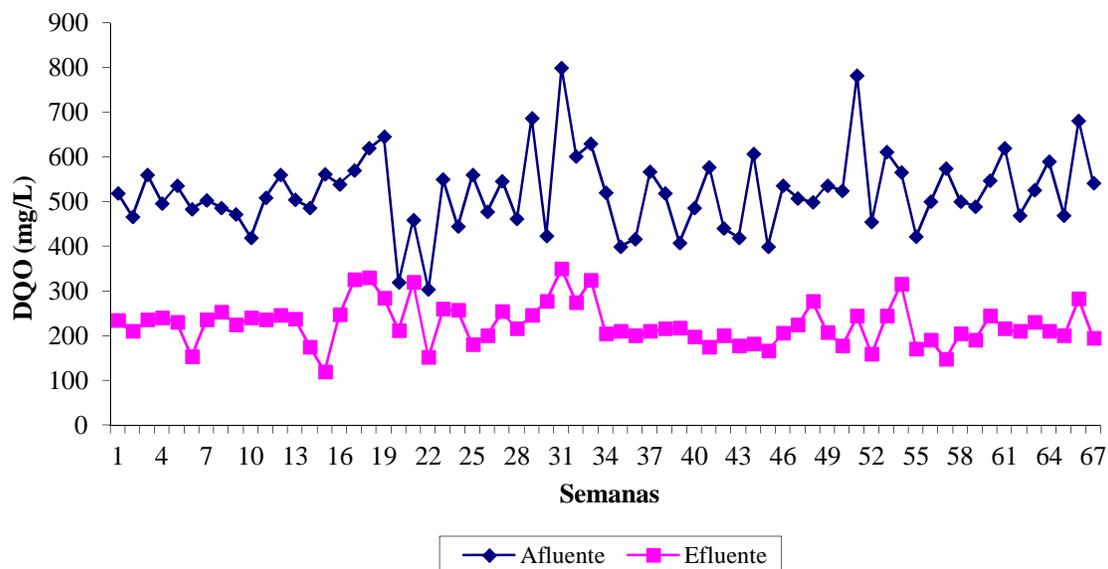


Figura 5. Valores de DQO obtidos durante o monitoramento do reator UASB

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Esta importância deve-se principalmente à sua participação na formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa. De acordo com Metcalf & Eddy (2002), o nitrogênio está presente em esgotos domésticos brutos sob as seguintes formas e frações: nitrogênio amoniacal (12 – 50 mg/L), nitrogênio orgânico (8 – 35 mg/L), nitrito e nitrato (desprezíveis).

Como observado na Figura 6, as concentrações de nitrogênio, na forma de amônia não foram removidas pelo reator, isto se deve basicamente porque quando acontece a degradação anaeróbia da matéria orgânica, ocorre a mineralização da mesma, liberando nitrogênio amoniacal para a massa líquida (Silva et al., 2012; van Haandel e Letinga, 1994). O descarte de nitrogênio amoniacal em corpos receptores aquáticos está associado com o consumo do oxigênio dissolvido no meio, devido a nitrificação, uma vez que para oxidar 1mg de NH_4^+ são necessários cerca de 4.3 mg de O_2 , podendo ocasionar a morte dos organismos aquáticos (Silva et al., 2012). É importante salientar que o efluente do reator UASB dessa pesquisa é lançado em lagoa facultativa para a segunda etapa do tratamento biológico da água residual.

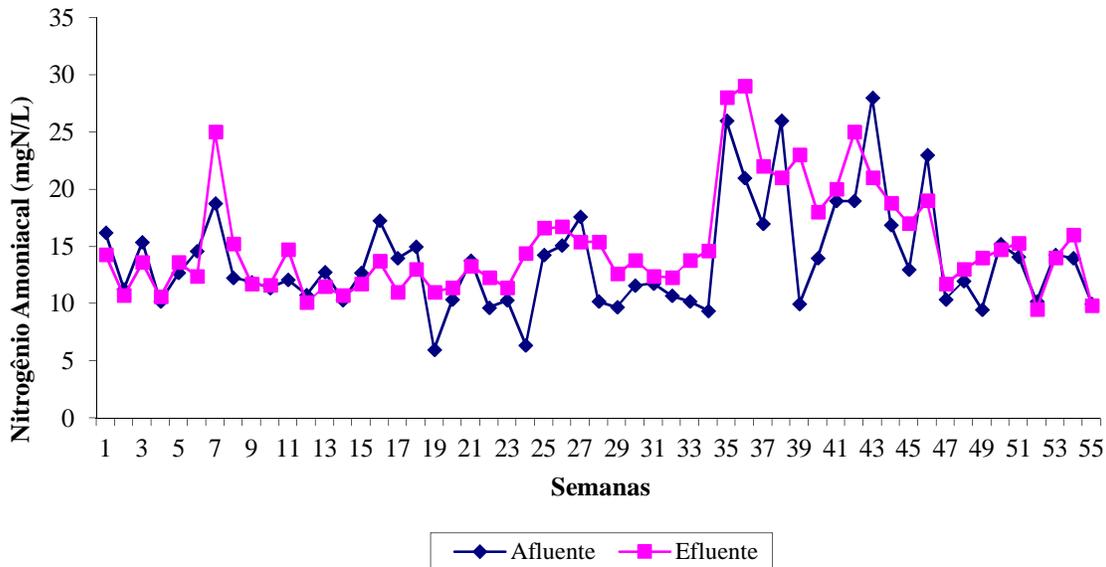


Figura 6. Valores de nitrogênio amoniaco obtidos durante o monitoramento do reator UASB

Estudo da toxicidade do enxofre

A Figura 7 apresenta os dados experimentais da concentração de sulfeto ao longo da extensão do reator UASB. O maior valor de sulfeto encontrado foi de 1.3 mg/L dentro do reator no ponto P1, ou seja, o ponto que está mais próximo da entrada do afluente. Foi possível verificar um decaimento da concentração a partir da entrada afluente, isto porque a medida que o sulfeto passa pelo reator é reduzido pelas bactérias redutoras e com isto as maiores concentrações de sulfeto estão próximo à entrada. Pelos dados encontrados e a bibliografia pesquisada os valores de sulfeto dentro do reator estão muito abaixo daqueles necessários para inibirem a atividade metanogênica. O sulfeto é originado em reatores anaeróbios através da redução de sulfato. De acordo com Van Haandel e Lettinga (1994), uma concentração de 200 mg/L de sulfeto diminui a produção de metano em 70% e uma concentração de 50mg/L já causa uma inibição significativa no reator.

Sabe-se que a concentração de sulfato não é limitante para produção de sulfeto em sistemas de tratamento de esgotos. Para Subtil (2007), no sistema deve haver uma concentração mínima de material orgânico na água residuária para que haja a formação de sulfeto. Esta quantidade de DQO representa o material orgânico necessário para consumir o oxigênio (oxigênio dissolvido ou nitrato) do afluente. No sistema a concentração média de DQO foi de 520 mg/L, portanto as concentrações mínimas foram garantidas para que a conversão fosse realizada. No entanto, conforme observado anteriormente, as concentrações de sulfeto apresentaram-se baixas, não podendo assim inibir as bactérias metanogênicas.

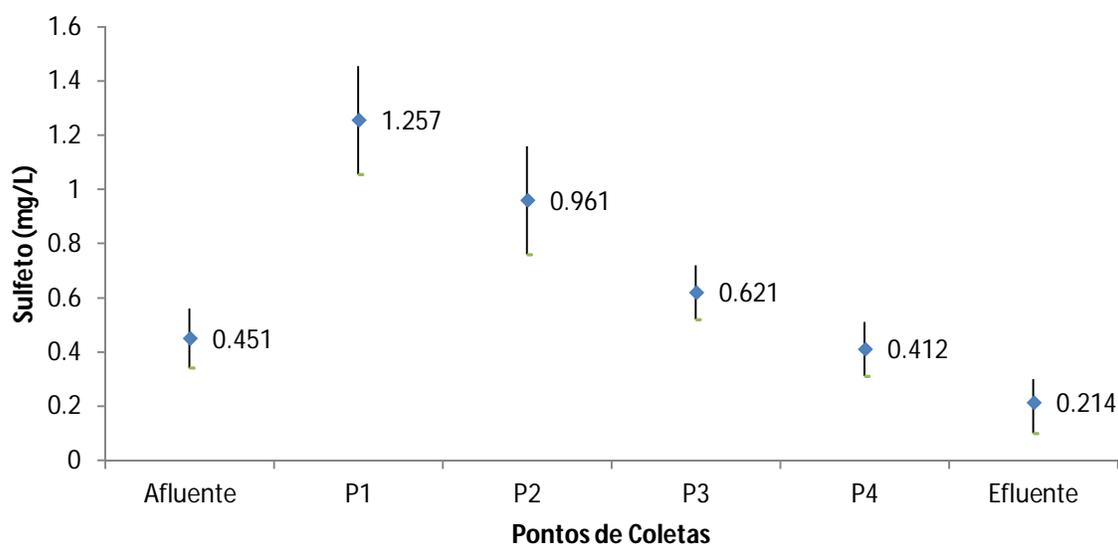


Figura 7. Valores médios e desvio padrão de enxofre ao longo do reator

O pH influi diretamente na produção de sulfetos em digestores anaeróbios. No sistema em estudo, o pH esteve entre 6.5 e 7.2, mantendo a neutralidade, favorecendo a formação de H_2S , entretanto as concentrações estiveram bastantes baixas. Acima de $15^\circ C$, a taxa de geração de sulfeto praticamente é duplicada a cada $10^\circ C$ de aumento da temperatura (Van Haandel e Letinga, 1994). O esgoto bruto apresentou uma temperatura média de $28^\circ C$, favorecendo, então, a produção de sulfetos, no entanto não foi verificado esse aumento de concentração durante o período monitorado.

A Tabela 2 mostra os valores médios de sulfato encontrados no afluente e efluente do reator. Pode ser verificado que as concentrações no afluente estiveram na média de 29 mg/L e no efluente de 7 mg/L . Observa-se que quase todo sulfato que entrava no reator era utilizado pelas bactérias. Segundo a literatura pesquisada a relação $DQO:SO_4^{-2}$ informa se está acontecendo a competição entre as bactérias produtoras de metano (BPM) e as bactérias redutoras de sulfato (BRS). Valores da relação baixos (1 a 2) favorece as BRS. Valores superiores a 2 indicam a não existência de competição entre os microrganismos (Van Haandel e Letinga, 1994). O valor da relação $DQO:SO_4^{-2}$ encontrado no reator estudado foi de 18, o que indica que não está acontecendo inibição da digestão anaeróbia devido a presença de sulfato no esgoto bruto.

As cargas totais de enxofre (sulfato e sulfeto) afluente e efluente foram de 77.1 e 17.9 kg/dia , respectivamente. Com uma redução de carga de enxofre de 59.2 kg/dia , é de se esperar que as espécies de enxofre foram incorporadas à biomassa ou escapadas do sistema através da volatilização do H_2S .

O biogás produzido no reator UASB do presente trabalho não é aproveitado na ETE, sendo queimado antes de seu lançamento na atmosfera. O biogás é uma mistura gasosa combustível, produzida através da digestão anaeróbia, ou seja, pela biodegradação de matéria orgânica através da ação de bactérias na ausência de oxigênio.

O biogás produzido pode ser aproveitado como gás combustível. Para isso essa mistura gasosa deve passar por um processo de purificação. Geralmente esse sistema de purificação é composto por dois compartimentos instalados na linha de captação do gás, visando a retirada da umidade e do ácido sulfídrico (H_2S). França Júnior (2008) relata um sistema de purificação de biogás proveniente de estação de esgoto. O biogás gerado na estação de esgoto apresentou as seguintes características: metano (50 a 80%), CO_2 (20 a 40%), água (1 a 2%), hidrogênio (1 a 2%) e H_2S (1 a 2%). Após o processo de purificação foram observadas baixas concentrações de água (0,98 %), e H_2S (0,06 %).

A queima do biogás em caldeiras é uma tecnologia bem estabelecida e confiável, e existem poucas restrições em relação à qualidade do biogás. A pressão geralmente deve estar entre 8 e 25 mbar. Adicionalmente, é recomendável reduzir o nível de H_2S para menos de 1000 ppm, o que permite manter o ponto de orvalho em torno de 150°C. Além disso, o ácido sulfuroso formado no condensado leva à corrosão intensa. É recomendável, portanto, a utilização de aço inoxidável para as chaminés ou queimadores de condensação e chaminés plásticas resistentes a altas temperaturas (Zanette, 2009).

Conclusões

Não ocorreu a toxidade do enxofre referente ao sulfeto e sulfato, na digestão anaeróbia do reator UASB em estudo. O sistema não apresentou concentrações significativas de sulfeto para acontecer à inibição das bactérias metanogênicas. A relação $DQO:SO_4^{-2}$, observada experimentalmente, é alta, e isso impossibilitou a competição das BRS e as BPM.

Em relação à matéria orgânica, mesmo com a oscilação da carga orgânica afluyente o sistema operou de forma satisfatória, apresentando uma remoção de DQO de 58 % e de DBO de 61%. Quanto aos parâmetros de estabilidade do processo (alcalinidade, AGV e pH), estes se comportaram de maneira ótima para ocorrer a digestão anaeróbia. A remoção de nutrientes (nitrogênio), praticamente não ocorreu, mas já era esperado isto, já que todos os sistemas que utilizam a digestão anaeróbia não tem esta característica.

Referências bibliográficas

- APHA/AWWA/WEF (1998) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th edition. Washington.
- Belli Filho, P., Costa, R. H. R., Gonçalves, R. F., Coraucci Filho, B., Lisboa, H. M. (2001) Tratamento de Odores em Sistemas de Esgoto Sanitários. In: Chernicharo, C. A. L. (Coord.). Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte, PROSAB2 (Programa de pesquisa em Saneamento Básico), Cap. 8, 455-940.
- Chernicharo, C. A. L. (1997) Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores Anaeróbios. v. 5, DESA-UFMG.
- França Junior, A. T. (2008) Análise do Aproveitamento Energético do Biogás Produzido numa Estação de Tratamento de Esgoto. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, 148p.
- Lupatini, G.; Garbossa, L. H. P., Cardoso, F. A., Weigert, G., Andreoli, C. V. (2007) Monitoramento de odores de estação de tratamento de esgoto anaeróbio em Quatro Barras/PR. In: 24^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais... Belo Horizonte.
- Metcalf & Eddy, INC. (2002) Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse. Ed. McGraw-Hill, New York, 1334p.
- Pedroza, M. M., Vieira, G. E. G., Sousa, J. F. (2011) Características químicas de lodos de esgotos produzidos no Brasil. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica, 4(2), 1-13.
- Sawyer, C. N., McCarty, P. L., Parkin, G. F. (1994) Chemistry for environmental engineering. 4^o ed. New York. McGraw-Hill Book Company. 658p.
- Silva, A. B. (2007) Avaliação da produção de odor na estação de tratamento de esgoto Paranoá e seus problemas associados. Dissertação de Mestrado, UNB, Brasília. 132 f.
- Silva, G. G., Naval, L. P., Rios, R. F. M., Pedroza, M. M. (2012) Anaerobic biofilter used for post-treatment of the effluent of an UASB reactor – A full-scale study. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica, 5(3), 39-50.
- Subtil, E. L. (2007) Avaliação da redução de sulfato e produção de sulfeto dissolvido em reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) tratando esgoto sanitário em escala real. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo. 100f.
- Van Haandel, A. C., Letinga, G. (1994) Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente. Egraf. Campina Grande.
- Zanette, A. L. (2009) Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 97 p.